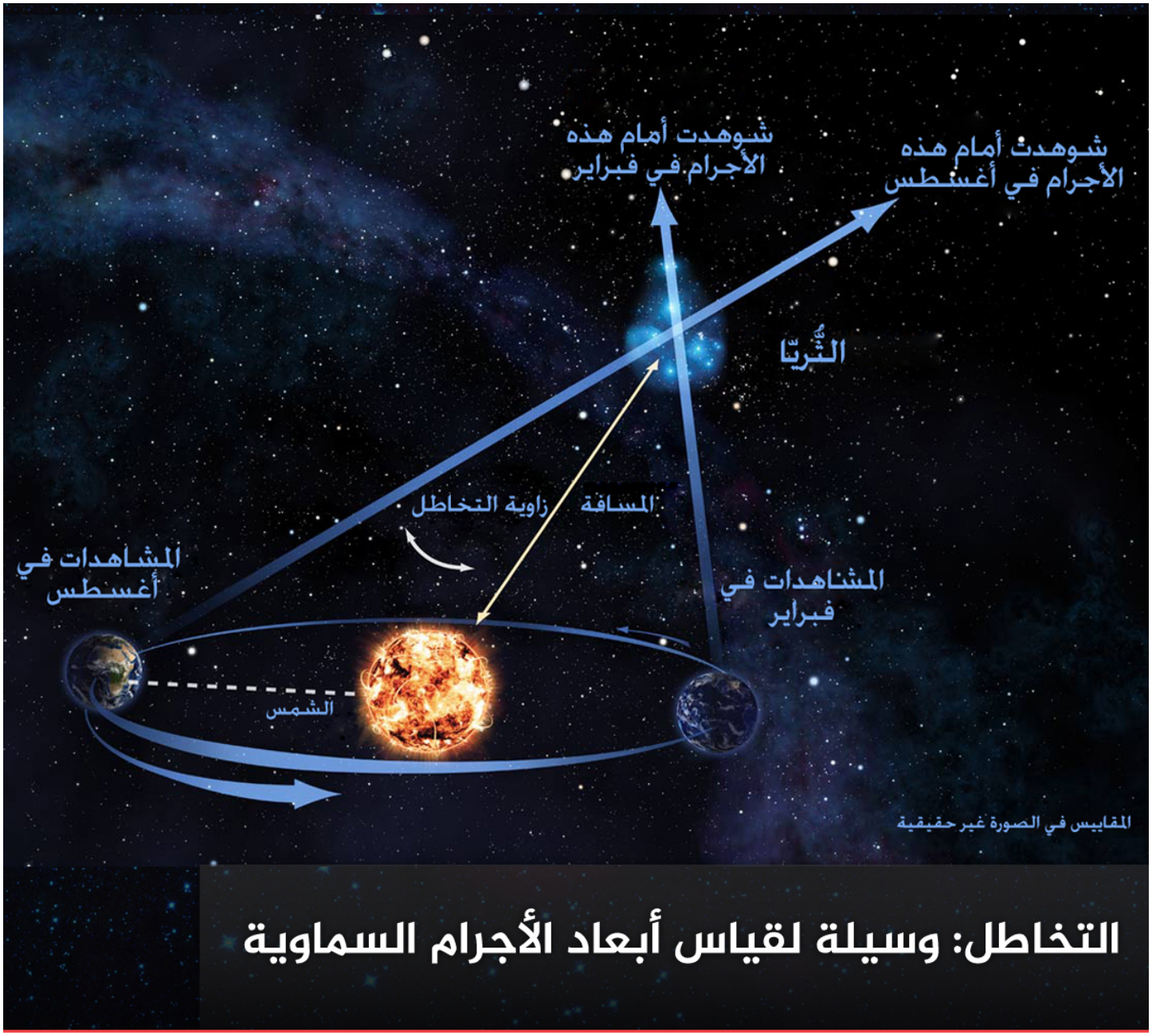
التخاطل: وسيلة لقياس أبعاد الأجرام السماوية



www.nasainarabic.net
@NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic

يستخدم الفلكيون تقنيةً تدعى التخاطل، من أجل الحساب الدقيق للمسافات إلى النجوم في السماء. قام الفلكيون المستخدمون لهذه التقنية، التي تتطلب مشاهدة ورصد الأهداف من الجوانب المتقابلة من مدار الأرض حول الشمس، بتحديد المسافة إلى العنقود النجمي "الأخوات السبع"، والمعروف بالثُّريا.

المصدر: Alexandra Angelich, NRAO/AUI/NSF

يُقدِّر الفلكيون المسافة للأجرام الفضائية القريبة، باستخدام طريقة تُدعى التخاطل النجمي **stellar parallax**، أو التخاطل بحساب المثلثات **trigonometric parallax**. ببساطة، يقومون بقياس الحركة الظاهرة للنجم أمام خلفية من النجوم الأبعد، خلال دوران

الأرض حول الشمس.

والتخاطل هو "**الطريقة الفُضلى للحصول على المسافات في علم الفلك**"، هذا ما قاله مارك ريد **Mark Reid**، وهو عالم فلك في مركز هارفارد–سميثونيان للفيزياء الفلكية، وقد وصف التخاطل على أنه "**المعيار الأمثل**" لقياس المسافات النجمية؛ وذلك لأنه عملية لا تعتمد على الفيزياء، وإنما تعتمد تماماً على الهندسة. تقوم العملية على أساس قياس زاويتيْن وضلع في المثلث الذي يتكون من كل من النجم والأرض في أحد جانبيها في مدارها، والأرض في الجانب الآخر في مدارها بعد ستة أشهر، وذلك بحسب إدوارد رايت **Edward L. Wright**، وهو بروفيسور في جامعة كاليفورنيا **UCLA**.

إن لم نكن نعرف المسافة إلى جرمٍ سماويٍّ ما، فإنه من المستحيل قياس الاختلاف الظاهري أحادي الجانب في موقعه أمام خلفية النجوم باستخدام وحدات الطول. ولكن يمكننا قياس تلك المسافة بالوحدات الزاويّة، أي ذلك القسم من الدائرة المكتملة والذي يظهر أن الجرم يقطعه أمام الخلفية النجمية.

إذا ما قمنا بتحديد الإزاحة النجمية الظاهرة لجرمٍ سماويٍ، والتي كان سببها هو رؤيته من زاوية مختلفة، أو لنقل أن السبب هو تخاطل الجسم، فإننا بحاجة إلى قياس المسافة بين نقطتي المشاهدة، أو الخط القاعدي (الخط المرجعي)، ومن ثم نأخذ هذا القياس للخط القاعدي ونقسم ذلك على ظل زاوية التخاطل، لنحصل على المسافة إلى ذلك الجرم.

وبهدف قياس المسافة إلى نجمٍ ما، يقوم الفلكيون باستخدام وحدة أساسية هي الوحدة الفلكية الواحدة (**AU**)، وهي معدل المسافة بين الأرض والشمس حيث تبلغ حوالي 93 مليون ميل (150 مليون كم). كما أنهم يقيسون الزوايا الصغيرة باستخدام الثواني القوسية **arcseconds**، حيث أن الثانية القوسية الواحدة هي بمثابة زاوية صغيرة، وهي مكافئة لإزاحة مقدارها 0.017 بوصة، عند النظر إليها عن بعد 100 ياردة (0.48 مليمتر عن بعد 100 متر).

إذا قسمنا الخط القاعدي ذي الوحدة الفلكية الواحدة على ظل ثانية قوسية واحدة، ينتج لدينا حوالي 19.2 تريليون ميل (30.9 تريليون كيلومتر)، وهو ما يعادل 3.26 سنة ضوئية. هذه الوحدة من المسافة تسمى ثانية التخاطل **parallax second** أو الثانية التخاطلية **parsec**، واختصاراً **pc**. هناك علاقة عكسية بين المسافة وبين التخاطل. على سبيل المثال، إذا كان هناك نجم ذو تخاطلٍ بمقدار نصف ثانية قوسية، سيكون على مسافة ثانيتيْن **pc**. وإذا كان هناك نجم له تخاطل بمقدار عُشر ثانية قوسية، سيكون على مسافة 10 ثوانٍ تخاطلية.

ولكن، بما أنه ليس هناك نجوم قريبة من بعضها بشكلٍ كافٍ ليكون لها تخاطل بمقدار ثانية قوسية واحدة، يجب على القياسات أن تكون حتى أكثر دقة من ذلك. هذا الأمر جعل من قياس التخاطل أمراً صعباً بالنسبة للفلكيين القدماء.

القياسات الأولى

يُتوقع أن تكون القياسات الفلكية الأولى المعروفة باستخدام التخاطل، حدثت في حوالي العام 189 ق.م.، عندما قام الفلكي الإغريقي هيباركوس **Hipparchus**، باستخدام مشاهداتِ كسوفِ الشمس من موقعين مختلفين في قياس المسافة بيننا وبين القمر، كما يقول ريد.

لاحظ هيباركوس أنه في 14 مارس/آذار من تلك السنة، كان هناك كسوفٌ شمسيٌّ كليٌّ في مضيق هيلسبونت في تركيا، ولكن في نفس الوقت وفي الإسكندرية في مصر، غطى القمر أربعة أخماس الشمس فقط. بمعرفة مسافة الخط القاعدي (المرجعي) الممتد من

هيليسبونت إلى الإسكندرية (9 درجات في خطوط العرض، وهي حوالي 600 ميل أي 965 كم)، وكذلك الإزاحة الزاويّة لحافة القمر أمام الشمس (حوالي عُشر الدرجة)، قام بحساب المسافة إلى القمر على أنها 350,000 ميل (563.300 كم)، وهي تقريباً أبعد بـ 50% من المسافة الواقعية. كانت غلطته في افتراضه أن القمر كان في الأعلى مباشرة فوق الرأس، وبالتالي أخطأ في حساب فرق الزاوية بين هيليسبونت وبين الإسكندرية.

في 1672، قام الفلكي الإيطالي جيوفاني كاسيني **Giovanni Cassini**، وزميل له هو جين ريتشر **Jean Ritcher**، بعدة عملياتِ رصدٍ متزامنة للمريخ، حيث كان كاسيني في باريس وريتشر في غينيا الفرنسية. حسَبَ كاسيني التخاطل، وحدّد المسافة بين المريخ وبين الأرض. أتاح هذا العمل أول تقدير للمسافات والأبعاد في نظامنا الشمسي.

كان أول شخص ينجح في قياس المسافة إلى نجمٍ باستخدام التخاطل، هو فريدريك بيسيل **F.W Bessel**، والذي قام في عام 1838 بقياس زاوية التخاطل للنجم 61 الدجاجة **Cygni 61** على أنه 0.28 ثانية قوسية، والذي يعطي مسافة مقدارها 3.57 ثانية تخاطلية. يمتلك النجم الأقرب للأرض، قنطور الأقرب **Proxima Centauri**، تخاطلاً مقداره 0.77 ثانية قوسية، وهو بذلك يبعد مسافة 1.30 ثانية تخاطلية.



المنظار المجسِّم stereoscope هو أداة تستخدم صورتين مأخوذتين عن زاويتين متباينتين قليلاً. عندما تتم رؤيتهما بوساطة العدستين، تندمج الصورتان في صورة ثلاثية الأبعاد. المصدر: prophoto14 / Shutterstock

سُلّم المسافات الكوني

التخاطل هو درجة مهمة من درجات سُلم المسافات الكوني، وبقياس المسافات لعددٍ من النجوم القريبة، استطاع الفلكيون إيجاد العلاقات بين لون النجم وبين سطوعه الداخلي، وهو السطوع الذي سيُرى عليه فيما لو تمت رؤيته من مسافة معيارية محددة. عندئذ تصبح هذه النجوم بمثابة "**شمعات معيارية**".

وبالتالي، يقول ريد إنه لو كان نجمٌ ما بعيداً جداً على أن نقيس تخاطله، يستطيع الفلكيون مقارنة لونه وطيفه مع واحدة من الشمعات المعيارية من أجل تحديد سطوعه الداخلي. وبمقارنة ذلك بسطوعه الظاهر، نستطيع الحصول على قياسٍ دقيقٍ لبعده عنا، عن طريق تطبيق القاعدة \(1\over r^2\). تنصُّ هذه القاعدة على أن السطوع الظاهر لمصدرِ ضوء ما، يتناسب مع مربع المسافة التي يبعد بها عنا. إذا ما قمت بعرض صورة مربعة، طول ضلعها قدم واحدة على شاشة ما مستخدماً جهاز عرض (**projector**)، ثم قمت بتحريك جهاز العرض ليصير أبعد بمقدارِ الضعف، ستصير الصورة ذات مساحة قدمين في قدمين، أو أربعة أقدام مربعة. وحينها يكون الضوء قد انتشر على مساحة أكبر بأربع مرات، وستكون الصورة بسطوعٍ مقداره ربع السطوع الأصلي. أما إذا جعلت جهاز العرض على مسافةٍ تساوي ثلاثة أضعاف المسافة الأصلية، سيغطي الضوء مساحة قدرها تسعة أقدامٍ مربعة، وسيكون ذا سطوعٍ مقداره تُسْع السطوع الأصلي.

إذا قمنا بقياس نجمٍ بمثل هذه الطريقة، وكان هذا النجم جزءاً من عنقودٍ نجميٍّ بعيد، يمكننا الافتراض أن هذه النجوم كلها على نفس البعد، ويمكننا أن نضيفها إلى مكتبة الشمعات المعيارية.

نحو دقة أفضل

في 1989، أطلقت وكالة الفضاء الأوروبية (**ESA**) التلسكوب المداري المدعو "هيباركوس" **Hipparchos**، (والذي سُمي بذلك تيمناً بهيبارخوس **Hipparchus**). كان الهدف الأساسيّ منه هو قياس المسافات النجمية باستخدام التخاطل، وذلك بدقةٍ مقدارها ميلي–ثانية قوسية (**mas**). بحسب موقعهم الإلكتروني: "استطاع القمر الصناعي هيباركوس تحديد أكثر من 100.000 نجمة، أدق بـ 200 مرة من أي وقت مضى". واستطاعوا تحديد المسافات إلى النجوم التي تبعد حتى 100 ثانية تخاطلية، بدقة مقدارها زائد أو ناقص 10%. هذه النتائج متاحة في منشور مُصور قابل للبحث على الإنترنت .

كانت مهمة وكالة الفضاء الأوروبية التي خَلَفت هيباركوس هي "جايا" **Gaia**، والتي أُطلقت إلى مدار الأرض في 2013. تصف وكالة الفضاء الأوروبية هذه المهمة على أنها "**مهمة تطمح لأن ترسم خريطة ثلاثية الأبعاد لمجرتنا درب التبانة، كجزءٍ من عملية كشف تكوين وتكوُّن وتطور المجرة**". وإن إحدى مهامها ستكون الحصول على المسافات الخاصة بمليار نجم، حوالي 1% من النجوم في درب التبانة، وذلك باستخدام قياسات التخاطل، بدقةٍ مقدارها 24 ميكرو ثانية قوسية.

في الوقت الذي تطورت فيه القياسات التخاطلية على الأطوال الموجية المرئية عبر الزمن، فإنه بإمكاننا –وِفقاً لريد– الحصول على نتائج أفضل حتى من تلك، وذلك باستخدام علم الفلك الراديوي بتقنيةٍ تسمى قياس التداخل القاعدي بالغ الطول (**very long baseline interferometry**)، وذلك باستخدام المصفوفة القاعدية بالغة الطول (**Very Long Baseline Array**) واختصاراً (**VLBA**). يصف ريد **VLBA** على أنها شبكة عالمية من التلسكوبات الراديوية، والمتزامنة عن طريق الساعات الذرية التي تنتج فتحة فعالة **effective aperture** مقدارها الآلاف من الأميال. وهذا يعتبر فرقاً واضحاً بينها وبين التلسكوبات البصرية الكبرى، التي تملك فتحة مقدارها 400 بوصة (10 أمتار).

بحسب ريد، يمكن حساب الدقة الزاويّة النظرية العظمى، على أنها طول الموجة التي يتم رصدها مقسوماً على حجم الفتحة. ولكن آثار

الغلاف الجوي ستقلل هذه الدقة الزاويّة بشكلٍ كبير. يمتلك التلسكوب البصري الأرضي ـذو فتحة بمقدار 26 قدماً (8 أمتار)ـ دقةً بمقدار 50 ميلي–ثانية قوسية. يمكن الحصول على نفس هذه القيمة باستخدام التلسكوب الفضائي هابل، ذي الفتحة التي قطرها 2.4 أمتار؛ وذلك لأنه يعمل فوق الغلاف الجوي. تقوم الـ **VLBA** برصد أطوالٍ موجيةٍ بمقدار بضعة سنتيمترات، ولكن بسبب أن الفتحة الفعالة مقدارها بضعة آلاف الكيلومترات، وبسبب أن الأطوال الموجية الطويلة لا تتأثر كثيراً بالغلاف الجويّ، فإنه بإمكانها تمييز حركاتٍ تخاطليةٍ قيمتها 10 ميكرو ثانية قوسية، مما يتيح لنا قياس المسافات للأجرام حتى 100.000 ثانية تخاطلية.

تشتمل الأجرام التي يرصدها ريد وفريقه بشكل عام من أجل هذه القياسات على نجومٍ يافعةٍ ونشطة، والتي تُطلق إشعاعاً سنكروترونياً (**synchrotron radiation**)، وهو إشعاعٌ ينتج عن قذف النجم لجسيماتٍ مشحونة، والتي تكون عادةً عبارة عن إلكترونات، تميل لأن تسير بشكلٍ لولبيٍّ حول خطوط حقلٍ مغناطيسيٍّ شديد. ويما أن الجسيْمات تكون مجبورة على السير في مسارٍ منحنٍ، فإن هذا يجعلها تبعث بفوتوناتٍ في أطوالٍ موجيةٍ راديوية. ويوجد أيضاً مصدرٌ آخر للانبعاثات الراديوية في السحب الغازية، الموجودة حول نجومٍ أصغر سناً وأكثر نشاطاً، والتي تعمل عمل الميزرات الطبيعية.

التصوير ثلاثي الأبعاد

هناك تطبيقٌ آخر للتخاطل وهو عرضُ الصور ثلاثية الأبعاد. حيث تكمُن الفكرة الأساسية في التقاط صورٍ ثنائية الأبعاد للجسم من زاويتيْن مختلفتيْن، بشكلٍ مشابهٍ لما تفعله العينان البشريتان، ومن ثم تعرضهما بحيث ترى كل عينٍ صورةً من تلك الصورتين.

على سبيل المثال، المجسام البصري **stereopticon**، المنظار المجسِّم **stereoscope**، وهو أداةٌ كانت مشهورة في القرن التاسع عشر، والتي تستخدم التخاطل من أجل عرض الصور بشكل ثلاثيّ الأبعاد، بحيث توضع صورتان بشكلٍ متجانبٍ ومن ثم يُنظر إليهما من خلال عدستيْن. وتُؤخذ كل صورة منهما من زاويةٍ مختلفةٍ قليلاً، بحيث تكون مقاربةً للمسافة بين العينين. تُمثل الصورة اليمنى ما ستراه العين اليمنى، والصورة اليسرى ما ستراه العين اليسرى، ومن خلال عارض صورٍ خاص، يندمج زوجا الصور ثنائية الأبعاد إلى صورةٍ ثلاثية الأبعاد. وتستخدم اللعبة الحديثة **View-Master** المبدأ ذاته.

هناك طريقةٌ أخرى لالتقاط ومشاهدة الصور ثلاثية الأبعاد، وهي الصور ثلاثية الأبعاد المنقوشة بالألوان **anaglyph 3d**، التي تفصل الصورتين عن طريق تصويرهما من خلال مرشحاتٍ ملونة، ثم يتم مشاهدة الصور باستخدام نظاراتٍ ملونةٍ خاصة. تكون إحداهما حمراء في العادة والأخرى سماوية (أخضر مزرق). يعمل هذا الأثر جيداً بالنسبة للأفلام والصور المطبوعة، ولكن أغلب أو كل المعلومات اللونية الموجودة من المشهد الأصلي يتم فقدانها.

تستطيع بعض الأفلام الوصول إلى أثرٍ ثلاثي الأبعاد باستخدام الضوء المستقطَب. يتم استقطاب الصورتين في اتجاهين متعامدين، وفي العادة يكون ذلك حسب النمط **X**، ومن ثم يتم عرضهما معاً على الشاشة. تعمل كل عدسة في النظارات ثلاثية الأبعاد الخاصة بطريقةِ العرض هذه، والتي يرتديها الحضور على إلغاء واحدةٍ من هاتين الصورتين اللتين تغطي إحداهما الأخرى.

تستخدم بعض أجهزة التلفاز وبعض الشاشات ثلاثية الأبعاد، الاستقطاب من أجل فصل الصور التي تراها العين اليمنى واليسرى. ولكن أغلب أجهزة التلفاز ثلاثية الأبعاد الموجودة الآن، تستخدم مخطط غالقٍ فعال **active-shutter scheme**، من أجل عرض الصور لكل عين، والتي تتناوب على 240 هيرتزاً. يكون هناك نظاراتٌ خاصةٌ يتم مزامنتها مع التلفاز، بحيث تقوم بحجب الصورة اليمنى واليسرى لكل عينٍ بشكلٍ متناوب.

هناك أجهزة عرضٍ أخرى ثلاثية الأبعاد تستخدم "حجب التخاطل" **parallax blocking**، حيث يتم رؤية صورتين متشابكتين عمودياً

عبر "سياج عمودي" يتكون من خطوطٍ عموديةٍ معتمة. تقومُ الخطوط بحجب واحدةٍ من الصور عند النظر إليها بعينٍ معيّنة، ويتم حجب الصورة الأخرى عند النظر بالعين الأخرى. تكمن مساوئ هذا النظام في أنه يعمل فقط عند النظر بزاويةٍ معينة، كما أنها تقتطع من الدقة الأفقية للصورة ومن الضوء الكلي إلى النصف.

تعمل أجهزة الرأس الخاصة بألعاب الواقع الافتراضي، مثل **Oculus Rift** أو **HTC Vive**، على إنتاج بيئاتٍ افتراضيةٍ ثلاثية الأبعاد عن طريق عرض صورةٍ من زاوية عرضٍ مختلفةٍ لكل عين؛ من أجل محاكاة أثر التخاطل.

هناك استخداماتٌ عديدةٌ للتصوير ثلاثي الأبعاد في العلوم والطب. على سبيل المثال، يمكن لمسوح أجهزة التصوير المقطعي المحوْسب ـوهي صورٌ حقيقيةٌ ثلاثية الأبعاد لمناطق داخل جسم الإنسان وليست مجرد زوجيْن من العروض ثنائية الأبعادـ أن تعرض بشكلٍ ترى فيه كل عينٍ الصورة من زاوية مختلفة قليلاً لتقوم بإنتاج أثر التخاطل. يمكن للصورة أن يتم تدويرها ومن ثم إمالتها، وذلك خلال عملية المشاهدة. يمكن للعلماء أيضاً أن يستخدموا الصور ثلاثية الأبعاد من أجل عرض ورؤية الجزيئات، الفيروسات، الكرستالات، سطح الفيلم الرقيق، البنيات النانوية، والأشياء الأخرى التي لا يمكن رؤيتها بالمجاهر الضوئية لأنها صغيرة جداً، أو مصنوعة من موادٍ معتمةٍ غير واضحة المعالم.

- التاريخ: 2015-11-13
- التصنيف: اسأل فلكي أو عالم فيزياء

#العناقيد النجمية #قياس أبعاد الأجرام السماوية #المسافات النجمية #الصور ثلاثية الأبعاد #التخاطل

المصطلحات

- **قياس التداخل (Interferometry)**: التداخل: يعود أصل هذه الكلمة بشكلٍ أساسي إلى ظاهرة تداخل فيزو المسماة نسبةً إلى عالم الفيزياء الفرنسي هيبوليت فيزو (Hippolyte Fizeau) الذي اقترح استخدام التداخل لقياس أحجام النجوم. الفكرة بسيطة جداً: خذ الضوء القادم إلى جميع تلسكوباتك وقم بإسقاط هذه الأضواء على سلسلة من المرايا المرتبة بشكلٍ جيد بحيث تكون جميعها موجودة في نفس مستوي الصورة وكأن المرايا جزء من مرآة وحيدة ضخمة. إذا ما تمَّ القيام بذلك بطريقة تسمح بوصول أضواء التلسكوبات المختلفة إلى نفس مستوي الصورة وفي الوقت ذاته، تُنتج حزمة أضواء التلسكوبات هذه تابع الانتشار النقطي (PSF) الذي يُمثل تحويل فورييه لفتحات التلسكوبات مجتمعةً. وباختصار هي تقنية يستخدمها علماء الفلك للحصول على دقة تلسكوب عملاق بالاعتماد على مجموعة من التلسكوبات الصغيرة.

المصادر

- space

المساهمون

- ترجمة
  - عبد الرحمن سوالمه
- مُراجعة
  - سومر عادلة
- تحرير
  - روان زيدان

- منير بندوزان
- تصميم
  - علا هاشم دمرداش
- نشر
  - مي الشاهد